

논문 2009-3-26

OFDM 기반의 전력선 통신 시스템에서 이중 이진 터보 부호 성능 연구

Study on Performance of Double Binary Turbo Code for Power Line Communication Systems Base on OFDM

김진영*, 차재상**, 김성권***, 이중주****, 김재현*****, 이중훈*****, 김은철*****

**Jin-Young Kim, Jae-Sang Cha, Seong-Kweon Kim, Jong-Joo Lee, Jae-Hyun Kim,
Chong-Hoon Lee and Eun-Cheol Kim**

요 약 전력선 통신 (PLC : Power Line Communication) 기술은 유선 액세스 네트워크 솔루션 중 높은 잠재력을 갖고 있는 후보로서 논의되고 있다. 본 논문에서는 PLC 채널에서 이중 이진 터보 부호 (DBTC : Double Binary Turbo Code) 성능에 대해 연구하였다. PLC 채널 환경을 만들기 위해 Bernoulli-Gaussian 잡음을 고려하였다. 시스템 성능은 비트 오류 확률 측면에서 분석되었다. 실험 결과로부터 이중 이진 터보 부호화는 상당한 부호화 이득을 제공하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 터보 복호 과정에서 복호 횟수를 증가시키기에 따라서 시스템 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract Powerline communications (PLC) technology has been discussed and analyzed as a highly potential candidate of wireline access network solutions. In this paper, performance of double binary turbo coded orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) system is analyzed and simulated in power line communications channel. In order to make power line channel environments, Bernoulli-Gaussian noise is considered. The performance is evaluated in terms of bit error probability. From the simulation results, it is demonstrated that the double binary turbo coding scheme offers considerable coding gain with reasonable encoding complexity. It is also shown that the system performance can be substantially improved by increasing the number of iterations.

Key Words : 전력선 통신 (PLC : Power Line Communication), 이중 이진 터보 부호 (DBTC : Double Binary Turbo Code), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), Max-Log-MAP

I. 서 론

전력선통신 (PLC : Power Line Communication) 기술은 유선 액세스 네트워크 솔루션 중 높은 잠재력을 갖고 있는 후보로서 논의되고 분석되어왔다.^[1-4] 이는 가정, 사무실 그리고 다른 건물 안에서 네트워킹의 중요성 증가하고 PLC 네트워크 인프라는 이미 존재하기 때문이다. 따라서 PLC는 기존 통신 인프라 환경이 열악한 교외 지역의 광대역 네트워크를 연결하는데 유력한 후보로 생각되고 있다.

*정회원, 광운대학교 전파공학과

**정회원, 서울산업대학교 매체공학과

***정회원, 서울산업대학교 매체공학과

****정회원, 한국전기연구원

*****정회원, 서경대학교 산업공학과

*****정회원, 서울산업대학교 스포츠건강학과

*****준회원, 광운대학교 전파공학과(교신저자)

접수일자 2009.05.22, 수정완료 2009.06.10

하지만 여전히 많은 문제들이 남아있다.^[5-7] 전력선은 원래 데이터 전송을 위해 설계되지 않았기 때문에 통신 채널로는 환경이 열악하다. 전송 채널로서 전력선의 주요 이슈는 변화하는 임피던스와 백색 잡음이 아닌 실제 컬러 잡음, 높은 주파수 의존 감쇄이다. PLC 채널은 백색 가우시안 잡음(WGN)을 갖는 일반적인 채널과는 특성이 매우 다르다. 장비의 전기 온/오프에 의한 임펄스 잡음이 중요한 문제 중의 하나이다.^[8,9] 게다가, 집 안에서 두 개의 장치들 사이에 채널은 복잡한 네트워크를 형성하고 다른 장치에 전력 전송 기능을 갖는다. 그러므로 신호 전파의 다중경로가 발생한다.^[10]

이러한 악화된 채널 조건을 극복하기 위해서, PLC 채널에 대해 데이터를 전송하는 동안의 오류를 보상하기 위해 채널 코딩 개념을 사용한다.^[11,12] 지금까지 PLC 기술에 대한 몇몇 채널 코딩 개념들이 제안되었다. Viterbi 알고리즘을 사용한 Convolutional 코드는 무선 시스템에서 예리할 성능을 강화시키는데 사용되어 왔다. Reed-Solomon(RS) 코드는 콤팩트 디스크와 같은 저장 디스크에서의 버스트 에러를 피하기 위해 사용된다. 터보 부호는 1993년 Berrou, Glavieux, Thitimajshima에 의해 제안되었다.^[13,14] 이러한 부호들은 매우 좋은 에러 정정 능력을 보여주는데, 0.7 dB의 Eb/N0 에서 AWGN 채널과 BPSK 변조된 신호에 대해서 1/2 부호화율을 사용하여 10⁻⁵의 비트 에러 확률을 나타낸다. 터보 부호는 반복적인 구조를 갖으며 그 성능은 반복 부호 처리에 의해 향상된다. 또한 터보 코드 구조를 변형하여 오류 정정 능력이 향상된 이중 이진 터보 부호가 제안되었다.^[15,16] 전형적인 터보 부호에서 오직 한 비트만이 터보 인코더에 입력되는 반면 이중 이진 터보 부호에서는 두 비트가 한 꺼번에 인코더에 입력된다. 이중 이진 터보 부호는 코드 워드들 사이의 최소 거리가 증가하여 향상된 복호 성능에 갖는다. 또한, 처리량이 증가하여 이중 이진 터보 부호를 복호화 하는데 필요한 처리 시간은 감소한다.

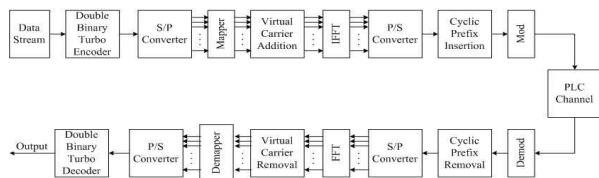


그림 1. 이중 이진 터보 부호를 적용한 OFDM 기반의 PLC 시스템

Fig. 1. PLC system based on OFDM with double binary turbo code.

본 논문에서는 PLC 채널에서 이중 이진 터보 부호화된 OFDM 시스템의 성능을 연구하였다. 낮은 복잡도와 높은 처리량, 저전력 소모 때문에 디코딩 과정에서 Max-Log-MAP 알고리즘을 적용하였다. 성능은 비트 에러 확률로 평가하였다.

이 논문의 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 이중 이진 터보 인코더/디코더를 사용한 OFDM 시스템 모델 및 PLC 채널 모델을 제시한다. 제 III장에서는 이중 이진 터보 부호화 및 복호화 알고리즘을 언급하였으며, 모의 실험 결과를 제 IV장에서 제시하였다. 마지막으로 제 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 및 채널 모델

이중 이진 터보 부호화 개념을 적용한 OFDM 기반의 PLC 시스템의 블록 다이어그램을 그림 1에 나타내었다. 먼저 직렬 데이터 스트림이 이중 이진 터보 부호화기에서 부호화 된다. 그리고 부호화된 데이터 스트림이 16 QAM 개념으로 심볼 전송률 1/Ts의 데이터 심볼에 맵핑 된다. 그 결과 나온 심볼 스트림은 Nc 데이터 심볼들로 맵핑 된다. 병렬 데이터 심볼율은 1/(Nc + Ts) 이고 병렬 심볼 지속시간은 Ts이다. 이후 데이터 심볼 벡터는 IFFT 된다. 그 결과 다음과 같은 OFDM 신호 x(n)가 생성된다.

$$x(n) = \left(\frac{1}{N_c} \right) \sum_{k=-K}^K X_k \exp\left(j \frac{2\pi kn}{N_c} \right) \quad (1)$$

여기서 $n = 0, 1, \dots, N_c - 1$ 이고 $N_c \geq 2K + 1$ 이다.

다중경로 효과는 심볼간 간섭 (ISI : Inter-Symbol Interference)를 야기하고, OFDM의 직교성 (Orthogonality)을 왜곡시킨다. PLC 다중경로 채널에서 OFDM의 직교성을 유지하기 위해 보호 대역을 각 OFDM 블록 앞에 삽입한다. 보호 대역의 지속시간은 ISI를 제거하기 위해 채널 임펄스 응답보다 커야한다. j^{th} 번째 OFDM 블록의 마지막 N_g 샘플들은 OFDM 프레임 $s(n)$ 을 만드는 프리앰블(preamble)로서 복사되고 붙여진다. 이것이 잘 알려진 cyclic prefix (CP)이다. 이후 신호는 전송된다.

수신단에서 전송된 데이터는 CP를 제거한 후 FFT를 사용하여 각 프레임의 N_c 샘플들을 복조한다.

전력선에서 노이즈는 컬러(colored) 노이즈와 백그라운드

운드(background) 노이즈, 임펄스(impulse) 노이즈, 세가지로 분류된다. 본 논문에서는 전력선 통신 채널에 대해서 백그라운드 노이즈와 임펄스 노이즈 두 가지 타입에 대해 고려할 것이다.

수신된 신호는 다음과 같이 나타낸다.

$$r(n) = x(n) + n(n) \quad (2)$$

여기서 $n(n) = w(n) + u(n)$ 은 수신단에서 보이는 결합된 노이즈이다. $w(n)$ 은 백그라운드 노이즈(평균이 0 이고 분산이 $2\sigma_w^2$ 인 부가 백색 가우시안 잡음)이고, $u(n)$ 은 임펄스 노이즈이다.

임펄스 노이즈를 Bernoulli-Gaussian 프로세스로 가정하자. Bernoulli-Gaussian 프로세스는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u(n) = b(n)g(n) \quad (3)$$

여기서 $b(n)$ 는 Bernoulli 프로세스로써 $\Pr(b(n) = 1) = p$ 을 갖는 독립적이고 동일하게 분포된 (i.i.d) 0 과 1의 시퀀스이고, $g(n)$ 는 평균이 0 이고 분산이 $2\sigma_u^2$ 인 복소 백색 가우시안 잡음이다.

$n(n)$ 의 확률 밀도 함수(PDF) $p_N(n_R, n_I)$ 는 [18]에서 언급되어 있는데, 다음과 같이 표현할 수 있다. 여기서 n_R 과 n_I 는 각각 $n(n)$ 의 실수와 허수 부분이다.

$$P_n(n_R, n_I) = (1-p) \cdot G(n_R, 0, \sigma_w^2) \cdot G(n_I, 0, \sigma_w^2) \cdot p \cdot G(n_R, 0, \sigma_w^2 + \sigma_u^2) \cdot G(n_I, 0, \sigma_w^2 + \sigma_u^2) \quad (4)$$

여기서

$$G(x, m_x, \sigma_x^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right)$$

는 평균이 m_x 이고 분산이 σ_x^2 인 가우시안 밀도 함수이다.

2^M QAM ($M=2, 4, 8, \dots$)의 기본적인 경우에 대하여 성좌안의 점들은 서로거리 d 만큼 떨어진 공간에 자리잡는데, 이는 아래의 식에서 주어진 심볼 에러 확률 P_{QAM} 로 표현할 수 있다.

$$P_{QAM} = 1 - \frac{1}{2^{M-2}} \left[P_1 + \left(2^{\frac{M}{2}-1} - 1\right) P_2 + \left(2^{\frac{M}{2}-1} - 1\right) P_3 + \left(2^{\frac{M}{2}-1} - 1\right) P_4 \right] \quad (5)$$

$$P_1 = \Pr\left(n_R \geq -\frac{d}{2} \ \& \ n_I \geq -\frac{d}{2}\right) \quad (6)$$

$$P_1 = \Pr\left(|n_R| \leq -\frac{d}{2} \ \& \ |n_I| \leq -\frac{d}{2}\right) \quad (7)$$

$$P_1 = \Pr\left(|n_R| \leq -\frac{d}{2} \ \& \ n_I \geq -\frac{d}{2}\right) \quad (8)$$

$$P_1 = \Pr\left(n_R \geq -\frac{d}{2} \ \& \ |n_I| \leq -\frac{d}{2}\right) \quad (9)$$

그리고 임펄스 노이즈를 갖는 QAM의 심볼 에러 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{QAM} = 1 - \frac{(1-p)}{2^{M-2}} \left[\left\{ (1-A_0) + \left(2^{\frac{M}{2}-1} - 1\right) (1-2A_0) \right\}^2 \right] - \frac{p}{2^{M-2}} \left[\left\{ (1-A_N) + \left(2^{\frac{M}{2}-1} - 1\right) (1-2A_N) \right\}^2 \right] \quad (10)$$

$$\text{여기서 } A_0 = Q\left(\frac{d}{2\sigma_w}\right) \text{ 이고, } A_N = Q\left(\frac{d}{2\sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_u^2}}\right)$$

이며, $Q(\cdot)$ 은 에러 함수이다.

III. 이중 이진 터보 부호

1. 이중 이진 터보 부호화

그림 2는 이진 이중 터보 부호화기 구조를 나타낸다.^[15,16] 여기서 S_1, S_2, S_3 는 각각 쉬프트 레지스터를 나타낸다. 이진 이중 터보 부호화기는 선형 케환 쉬프트 레지스터의 입력으로 단위시간당 두 개의 비트를 공급한다. 즉 두 개의 연속된 이진 비트들을 하나의 2-비트 심볼 (A, B)로 형성한 후 부호화를 수행한다. 이 때 constituent 부호화기는 콘볼루션 부호화 기법을 사용한다. 정보 블록 N 비트의 입력은 $N/2$ 비트로 구성된 A, B 서브 블록으로 나뉜다. 부호기에서 입력 A, B 서브 블록은 출력 A, B, Y_1, W_1, Y_2, W_2 서브 블록을 생성하고 각 서브 블록은 $N/2$ 비트로 구성되어 있다. 따라서 평치령을 거치지 않은 이중 이진 터보 부호는 1/3의 부호율을 갖는다. 출력에서 A, B 서브 블록은 정보 비트가 그대로 출력되는 systematic 부호화의 결과이고, Y_1 과 W_1 서브 블록은 정보 비트를 이중 이진 구조의 케환형 콘볼루션 부호기를 통과시킨 후 생성된 패리티 비트이고, Y_2 와 W_2 는 인터리버를 거친 정보 비트를 이중 이진 구조의 케환형 콘볼루션 부호기를 통과시킨 후 생성된 패리티 비트이다.

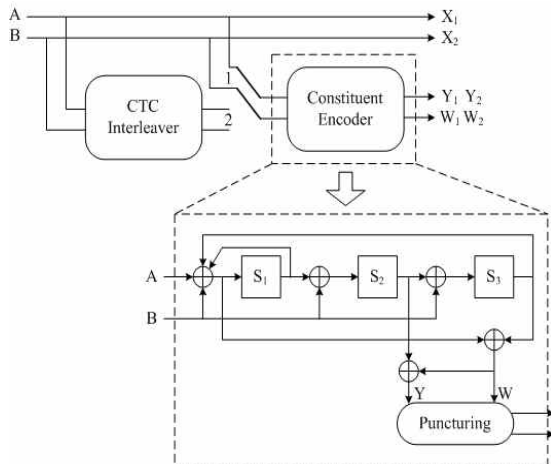


그림 2. 이중 이진 터보 부호화기
Fig. 2. Double Binary Turbo Encoder.

2. 이중 이진 터보 복호화

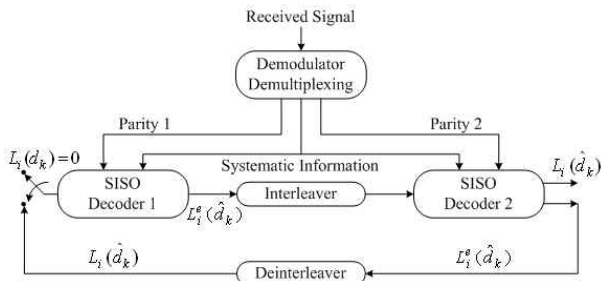


그림 3. 이중 이진 터보 복호화기
Fig. 3. Double Binary Turbo Decoder.

그림 3은 이중 이진 터보 부호의 복호화기를 나타낸다. 터보 복호기에서는 연속된 입력 비트들이 Trellis Mux를 통하여 정보 비트와 패리티 비트로 구분된다. 그리고 정보 비트와 패리티 비트가 이전의 SISO (Single Input Single Output) 복호기에 의해 발생된 사전 정보값과 함께 복호화 과정에 이용된다. 그리고 복호화된 결과가 이전의 복호화된 결과 값과 비교된 후 추가 부가 정보들을 이용하여 복호화를 반복하여 결과 값에 대한 신뢰도를 증가시킨다. 일정 회수만큼 반복 복호화된 결과값은 경관정을 거쳐서 최종값으로 결정된다.

본 논문에서는 시스템의 계산의 복잡성을 줄이고, 처리량을 높이며, 전력 소모를 줄이기 위해서 이중 이진 터보 부호에 대해서 복호화 알고리즘으로 Max Log-MAP 알고리즘을 고려하였다.

IV. 실험 결과

이번 장에서는 PLC 채널에서 이중 이진 터보 부호화된 OFDM 시스템의 성능을 평가하기 위해 모의 실험 결과를 보인다. 실험에서 사용한 이진 이중 터보 부호의 부호기는 8개의 상태를 가지고, 부호율은 1/3이다. 그리고 부호기에 입력되는 데이터의 한 블록은, A서브 블록이 212비트, B서브 블록이 212비트로, 총 424비트이다. 임펄스 노이즈의 영향 고려하기 위해 Bernoulli_Gaussian 노이즈를 사용하였다. $g(n)$ 의 표준 편차를 $5\sigma_w$, p 를 0.01에서 설정하였다. FFT 포인트는 512이고 CP의 길이는 128이다.

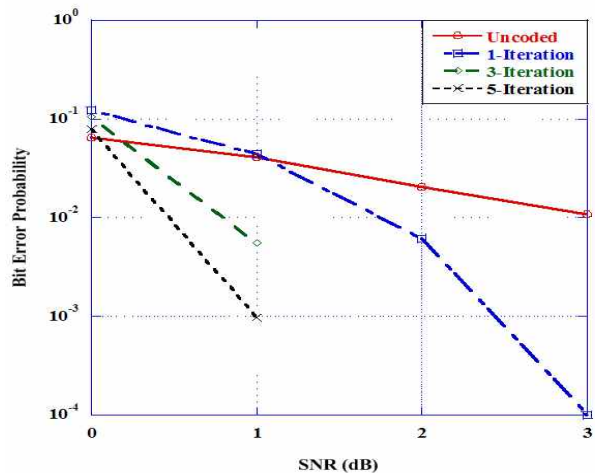


그림 4. 반복 복호 횟수에 따른 비트 오류 확률 성능 (부호율 : 1/3)

Fig. 4. Bit error probability performance in accordance with the number of iterations (coding rate : 1/3).

그림 4는 PLC 채널에서 반복 횟수에 따른 SNR 대비 비트 에러 확률을 나타낸다. 이 실험에서 부호율은 1/3로 설정하였다. 이중 이진 터보 부호는 부호를 사용하지 않은 경우와 비교할 때 SNR이 증가함에 따라 상당한 부호화 이득을 제공하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이중 이진 터보 부호는 OFDM 기반의 PLC 시스템 성능 향상에 효과적임을 확인할 수 있었다. 게다가, 반복 복호 횟수가 증가할수록 시스템 성능은 향상되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 반복 횟수는 한계가 있다는 것을 유념해야 한다. 반복 복호 횟수가 증가할수록 성능 향상 폭은 점차 감소하여 이 실험에서는 반복 복호 횟수가 5회를 초과하

면 성능 향상이 없음을 확인할 수 있다. 이는 충분한 반복 부호 후에는 soft information을 더 이상 이용할 수 없기 때문에 그 이상의 부호화 이득을 얻을 수 없다.

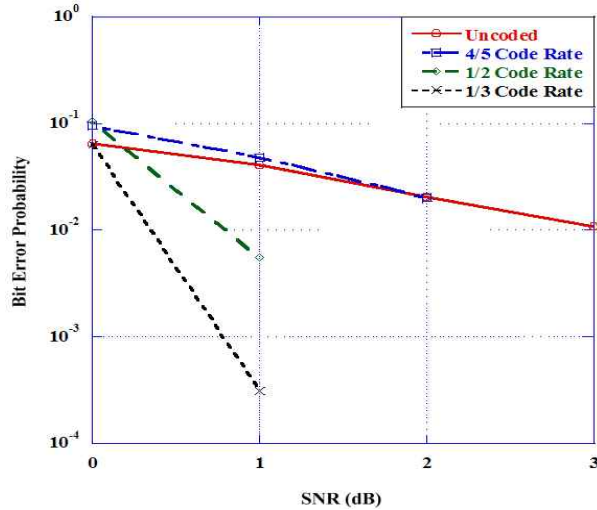


그림 5. 부호율 횡수에 따른 비트 오류 확률 성능 (반복 부호 횡수 : 3)

Fig. 5. Bit error probability performance in accordance with coding rate (the number of iterations : 3).

그림 5는 PLC 채널에서 부호율에 따른 SNR 대비 비트 오류 확률 성능을 나타낸다. 이 실험에서는 반복 횡수를 3회로 설정하였고 4/5과 1/2 및 1/3 세 가지 부호율을 고려하였다. 이 부호율들은 표 2의 puncturing pattern을 이용하여 패리티 비트들을 지움으로써 얻을 수 있다. 부호율이 증가할수록 puncturing 을 통하여 패리티 비트들이 지워지기 때문에 부호율이 감소할수록 시스템 성능은 향상된다.

표 1. Puncturing Pattern

Table 1. Puncturing Pattern.

| Code Rate | Puncturing Patterns |
|-----------|---|
| 1/3 | $Y \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ $W \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ |
| 1/2 | $Y \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ $W \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ |
| 4/5 | $Y \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $W \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ |

V. 결론

본 논문에서는 PLC 채널에서 이중 이진 터보 부호를 적용한 OFDM 시스템의 성능을 분석하고 실험하였다. 이중 이진 터보 부호화는 OFDM 기반의 PLC 시스템에 대해 상당한 부호화 이득을 제공한다는 것을 확인하였다. 또한 비트 에러 확률 성능이 디코딩 프로세스에서 사용된 반복 횡수가 증가할수록 현저하게 향상된다는 것을 확인하였다. 본 논문의 결과는 PLC 시스템을 구현하는데 적용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] A. Majumder and J. Caffery, "Power line communications," IEEE Potentials, vol. 23, no. 4, pp. 4-8, Oct. 2004.
- [2] G. Jee, R. D. Rao, and Y. Cern, "Demonstration of the technical viability of PLC systems on medium- and low-voltage lines in the United States," IEEE Commun. Mag., vol. 41, no. 5, pp. 108-112, May 2003.
- [3] W. Liu, H. Widmer, and P. Raffin, "Broadband PLC access systems and field deployment in European power line networks," IEEE Commun. Mag., vol.41, no.5, pp. 114-118, May2003.
- [4] N. Pavlidou, A. J. H. Vinck, J. Yazdani, and B. Honary, "Power line communications: State of the art and future trends," IEEE Commun. Mag., vol. 41, no. 4, pp. 34-40, Apr. 2003.
- [5] H. C. Ferreira, H. M. Grove, O. Hooijen, and A. J. H. Vinck, "Power line communications: an overview," in Proc. of IEEE 4th AFRICON, Auckland park, South Africa, vol. 2, pp. 558-563, Sep. 1996.
- [6] R. M. Vines, H. J. Trussell, L. J. Gale, and J. B. O'Neal, "Noise on residential power distribution circuits," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 26, no. 4, pp. 161-168, Nov. 1984.
- [7] J. A. Malack and J. R. Engstrom, "RF impedance of United States and European power lines," IEEE

[8] Trans. Electromagn. Compat., vol. 18, no. 1, pp. 36-38, Feb. 1976.

[9] M. H. L. Chan and R. W. Donaldson, "Amplitude, width, and interarrival distribution for noise impulses on intrabuilding power line communication networks," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 31, no. 3, pp. 320-323, Aug. 1989.

[10] M. H. L. Chan, D. Friedman, and R. W. Donaldson, "Performance enhancement using forward error correction on power line communication channels," IEEE Trans. PowerDeliv., vol. 9, no. 2, pp. 645-653, Apr. 1994.

[11] M. Zimmermann and K. Dostert, "A multi-path model for the power line channel," IEEE Trans. Commun., vol. 50, no. 4, pp. 553-559, Apr. 2002.

[12] S. Lin and D. J. Costello, "Error Control Coding," Prentice Hall, 2004.

[13] S. B. Wicker, Error Control Systems for Digital Communication and Storage, Prentice Hall, 1995.

[14] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: turbo codes," in Proc. of IEEE Int. Conf. Commun., Geneva, Switzerland, vol. 2, pp. 1064-1070, May 1993.

[15] C. Berrou and A. Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes," IEEE Trans. Commun., vol. 44, no. 10, pp. 1261-1271, Oct. 1996.

[16] C. Berrou, C. Douillard, and M. Jezequel, "Multiple parallel concatenation of circular recursive systematic convolutional (CRSC) codes," Annals of Telecommun., vol. 54, no. 3-4, pp. 166-172, Mar. 1999.

[17] C. Douillard and C. Berrou, "Turbo codes with rate- $m/(m+1)$ constituent convolutional codes," IEEE Trans. Commun., vol. 53, no. 10, pp. 1630-1638, Oct. 2005.

저자 소개

김진영(정회원)



- 1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 미국 Princeton University, Research Associate
- 2001년 SK 텔레콤 네트워크연구원 책임연구원
- 2001년 현재 광운대학교 전자공학과 부교수

• 2009년 현재 미국 MLT 공대 Visiting Scientist
 <주관심분야: 디지털통신, 무선통신, 채널부호화>

김성권(정회원)



- 2002년 일본 東北대학교 전자공학과 공학박사
- 2009년 국립목포해양대학교 해양전자통신공학부 조교수
- 2009년 현재 서울산업대학교 매체공학과 조교수

<주관심분야: 무선통신용 LSI 설계, 주파수분배정책 및 주파수의 효율적 사용에 관한 연구, 고주파 회로 설계, 무선통신시스템>

차재상(정회원)



- 2000년 일본 東北대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 ETRI 이동통신연구소 무선전송기술팀 선임연구원
- 2008년 미국 플로리다 대학교 방문교수
- 2009년 현재 서울산업대학교 매체공학과 조교수

학과 조교수
 <주관심분야: 디지털 방송전송기술, Cognitive Radio, UWB, 홈네트워크 무선통신기술, 대역확산 및 다중접속기술, 4세대 이동통신기술>

이종주(정회원)



- 1999년 수원대학교 전기공학과 공학박사
- 2001년 성균관대학교 정보통신공학부 공학석사
- 2008년 성균관대학교 정보통신공학부 공학박사
- 2008년 현재 한국전기연구원 전력시스템 위축선임연구원

스팀 위축선임연구원
 <주관심분야: 임베디드 시스템, SCADA, Smart Grid, 신호처리>

김 재 현(정회원)



- 1994년 미국 Univ. of Oklahoma 산업공학과 공학박사
 - 1994년 서경대학교 산업공학과 부교수
- <주관심분야 : IT컨텐츠, 모바일 방송통신 등>

이 중 훈(정회원)



- 1995년 성균관대학교 이학박사
 - 2009년 현재 서울산업대학교 스포츠건강학과 부교수
- <주관심분야 : 스포츠 역학, 스포츠 IT 융합기술, Kinetic분석 및 기구 개발>

김 은 철(준회원)



- 2003년 광운대학교 전자공학부 학사 졸업.
- 2005년 광운대학교 전파공학과 석사 졸업.
- 2009년 현재 광운대학교 전파공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 무선통신, 동기화, 채널 부호화, 양립성>